Aus der Abteilung für Zahnerhaltung (Leiter: Prof. Dr. A. Kröncke)
des Zahnärztlichen Institutes der Universität Tübingen
(Direktor: Professor Dr. Dr. E. Fröhlich)

Mikrohärtemessungen im Schmelz und Dentin retinierter menschlicher Zähne

Inaugural-Dissertation

zur
Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Christel Bühler

aus Lahr

1964

7785

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547601_0093

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung (Leiter: Prof.Dr. A. Kröncke)
des Zahnärztlichen Institutes der Universität Tübingen
(Direktor: Prof. Dr. Dr. E. Fröhlich)

Mikrohärtemessungen im Schmelz und Dentin retinierter menschlicher Zähne

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard - Karls - Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Christel Bühler
aus Lahr
1964

U. KIEL
BIBLIOTHEK

Dekan: Professor Dr. H. H a r m s

Referent: Professor Dr. A. K r ö n c k e

Korreferent: Professor Dr. Dr. E. F r ö h l i c h

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	Einleitung und Problemstellung	1
II.	Literaturübersicht	3
III.	Versuchsmaterial und Methodik	9
	A. Material	9
	1. Schleifen der Proben	12
	B. Härtemessungen	12
	1. Prinzip der Methode	12
	2. Einbetten der Schliffe	13
	3. Messvorgang	13
	C. Statistische Fehlerberechnung	14
IV.	Ergebnisse	16
	A. Durchschnittlicher Härtewert retinierter Zähne	16
	B. Prüfung des Härteverlaufs in Schmelz und Dentin	18
	C. Untersuchung der Härte von Schmelz und Dentin im Approximalraum und unter der Kaufläche	22
	D. Kariesresistenz bzw. Kariesanfälligkeit und Mikrohärte	25
	E. Spezielle Nachuntersuchung der Schmelzhärte	26
V.	Diskussion der Ergebnisse	32
VI.	Zusammenfassung	37
VII.	Schrifttum	40

I. Einleitung und Problemstellung

Unter dem Begriff Härte, für den wir kein absolutes Maß besitzen, versteht man im technischen Sprachgebrauch "den Widerstand eines festen Körpers, den er dem Eindringen eines anderen (festeren) Körpers entgegensetzt." "Die Methoden der Härtemessung sind zahlreich und unterschiedlich, sodaß Vergleichswerte nur dann zu Schlußfolgerungen berechtigen, wenn die Versuche unter denselben Bedingungen und mit denselben Methoden angestellt worden sind." (FALCK - WEICKART (7)).

Zur Härtemessung unter Bedingungen, die sich am Zahnschliffpräparat bieten, erweist sich die Mikrohärtemessung nach Vikkers als Methode der Wahl. KRELL (10), BLUME (3), KIMMERLE (8), STOLL (17).

Struktur und Mineralisationsgrad bestimmen im wesentlichen die Härte der Zahnhartsubstanzen. Hinzu kommen - sobald der Zahn durchgetreten ist - Speichel und Funktion, Faktoren, deren Bedeutung für die Härte des Zahnes nach der Literatur noch nicht näher bekannt ist. Ist der Zahn jedoch retiniert, fehlt naturgemäß der Einfluß von Mundmilieu und Funktion.

In der vorliegenden Arbeit soll mittels Mikrohärtemessungen geprüft werden, ob Härteeigenschaften von bereits mit der Mundhöhle in Beziehung stehenden Zähnen auch an retinierten Zähnen zu beobachten sind. Dabei ergeben sich im einzelnen folgende Fragen:
Haben retinierte Zähne höhere oder geringere Härtewerte als in die Mundhöhle durchgebrochene Zähne? Dazu ist zunächst ein Durchschnittshärtewert für Schmelz und Dentin zu finden. Weiterhin ist der Härteverlauf in Schmelz und Dentin zu prüfen. Ein weiterer Punkt soll sich mit der Frage befassen: Liegen Härteunterschiede zwischen den einzelnen Zahnflächen vor, sind Variationen innerhalb derselben Fläche an demselben Zahn vorhanden? Schließlich wäre auf die Frage einzugehen: Wie verhalten sich die Härtewerte retinierter Zähne aus kariesanfälligen Gebissen gegenüber denen aus kariesresistenten Gebissen?

Sinn dieser Fragen ist zu prüfen, in welchem Umfange bestimmte Gesetzmäßigkeiten der Härte in Schmelz und Dentin (siehe Literaturübersicht) auch bei retinierten Zähnen vorhanden sind. Die Beantwortung dieser Fragen dürfte Rückschlüsse auf diejenigen Faktoren zulassen, die erst nach dem Durchbruch des Zahnes auf ihn einwirken können (Funktion, Remineralisation, Schmelzreifung).

II. Literaturübersicht

Bei der Durchsicht der Fachliteratur fanden sich keine Angaben über die Härte der Zahnhartsubstanzen von retinierten Zähnen. Mehr jedoch weiß man über die Härte von Schmelz und Dentin menschlicher Zähne, die bereits in die Mundhöhle durchgetreten waren.

KRELL (10) prüfte die Härte in Vickerseinheiten an "einem jugendlichen Eckzahn, einem jugendlichen Prämolar und einem durch Paradentose der Zange anheimgefallenen Molar", und gab für Schmelz und Dentin Vickershärtewerte von 330 bzw. 68 kg/mm^2 an. Er maß die Härte im Dentin von der Pulpagegend in Richtung Schmelz-Dentingrenze und fand: ... "daß bei ansteigender Entfernung, gemessen von der Pulpa ab, in gleicher Weise die Härte zunimmt." Außerdem: "Es existieren zwischen Schmelzschicht und Dentin an der Übergangszone keine Übergangshärtewerte. Wir sehen nämlich genau an der Übergangsstelle vom Schmelz zum Dentin, wie der Diamant in treppenartiger Weise abrutscht zu der starken Verbreiterung der Ritzfurche." Er führte diese Erscheinung auf eine Anreicherung der interprismatischen Substanz zurück.

KIMMERLE (8) fand im Rahmen seiner Voruntersuchungen durchschnittliche Härtewerte für Schmelz und Dentin von HV = 274,34 kg/mm^2 bzw. HV = 67,59 kg/mm^2 und stellte fest, daß die Härte im Schmelz menschlicher Zähne regelmäßig von zervikal nach coronal ansteigt. Außerdem beobachtete er, wie zuvor KRELL (10), an der Übergangszone Schmelz-Dentin Härteeindrücke größerer Oberflächengestalt.

STOLL (17) schließlich fand als Mittelwert von 2468 Einzelmessungen für Dentin einen Wert von HV = 62,64 kg/mm^2. Er stellte fest, daß Härtewerte, gewonnen aus Meßbereichen unter der Kaufläche, dem Zahnhals und dem Approximalraum über dem Gesamtdurchschnitt liegen. Er verneinte damit die Frage, ob die bevorzugte Entstehung der Karies an den sogenannten "Praedi-

lektionsstellen" außer der Retentionsmöglichkeit für Speisereste und Zelldetritus auch härtemäßig eine Stütze erfährt. Bei der Untersuchung des Härteverlaufs vom pulpanahen Prädentin bis zur Schmelz-Dentingrenze fand er: "Das Dentin in unmittelbarer Nähe der Pulpa ist wesentlich weicher als im Durchschnitt. Die Mittelwertskurve steigt dann allmählich an und erreicht ihre Höchstwerte von ca. 70 kg/mm^2 in etwa 1,05 - 1,80 mm Abstand von der Pulpa. Von hier bis zur Schmelz-Dentingrenze ist noch einmal ein relativ rascher Abfall der Härtewerte festzustellen." Er wies nach, daß die Dentinhärte an der Schmelz-Dentingrenze wiederum unter dem Durchschnitt liegt.

Genauere Angaben über Härtevariationen zwischen den einzelnen Zahnflächen und Zahntypen machten CALDWELL und Mitarbeiter (5), die Unterschiede aber nur innerhalb der statistischen Fehlergrenze fanden, was auch für die noch nicht durchgebrochenen Zähne (Weisheitszähne, retinierte Eck- und Backenzähne) gelte. Variationen finde man aber innerhalb derselben Fläche an demselben Zahn. Der Durchschnittswert aller ihrer Bestimmungen betrug 380 (Knoop-Härte) mit Extremen zwischen 250 und 500.

DANIELSSON (6) stellte fest, daß der Schmelz des Weisheitszahnes weniger hart ist als der der übrigen Zähne. Sie führte diese geringere Härte auf einen höheren Anteil an interprismatischer Substanz zurück.

ROZEIK und HERRMANN (15) verglichen die Härte im Schmelz in transversaler Richtung, d.h. von der Oberfläche in Richtung Schmelz-Dentingrenze, und fanden, daß "die äußere Schmelzzone härter ist als die mittlere und innere Schmelzzone war, gleichgültig, ob es sich um Zahnkronenhals, -mitte, Kaufläche oder Fissuren handelt." Sie bewiesen damit, "daß die Härte des Schmelzes von außen nach innen abnimmt." Zu einem entsprechenden Ergebnis kam BALLÉ (2), die an Milchzähnen einen kontinuierlichen Härteabfall von der Oberfläche zur Schmelz-Dentingrenze fand.

Inwiefern Alter der Probanden, Funktion und Mundmilieu Bedeutung für die Härte der Zahnhartsubstanzen gewinnen, ist bisher nicht entschieden.

CALDWELL und Mitarbeiter (5) sahen keine Relation zum Alter der Probanden. BURG (4) schrieb: "Mit steigendem Alter nehmen die Härtegrade im Dentin zu, es machen sich vereinzelte individuelle Abweichungen in allen Lebensaltern deutlich bemerkbar. Den höchst erreichbaren Wert der Härte zeigt jede Stelle der Oberfläche des unverletzten Zahnes. Die Funktion scheint Bedeutung bezüglich der Härte der Zahnhartsubstanzen zu gewinnen.

Hinsichtlich der Funktion schrieb KRELL (10): "Ein fünf Monate lang wöchentlich einmal gekürzter unterer rechter Schneidezahn besaß gegenüber einem im ganzen nur einmal gekürzten unteren linken Schneidezahn eine geringere Härte auf Grund seines schnelleren Wachstums und seiner Afunktion." Es muß dahingestellt bleiben, ob aus dieser Einzelfeststellung so weitgehende Schlüsse gezogen werden dürfen. Sicher wäre es von Wert, dieser Beobachtung genauer nachzugehen. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten retinierten Zähne waren naturgemäß nicht funktionell beeinflußt. Insofern kann auf die von KRELL (10) angedeutete Fragestellung im Sinne eines Nebenbefundes eingegangen werden.

Ob im Schmelz Stoffwechsel- oder Diffusionsvorgänge ablaufen, ist ebenfalls nicht entschieden und eine Sache der Definition. Die wichtigsten Hypothesen jedoch sollten an dieser Stelle angeführt werden:

So schrieb ANDRESEN (1): "Man kann sich leicht denken, daß das unendlich feinteilige Gewebe des Schmelzes imstande ist, anorganische Schmelzmaterialien zu adsorbieren und organisieren, wenn sie in einem so feingeteilten Zustande als einer Lösung dargestellt werden, in der die betreffenden Stoffe als dissoziierte Elektrolyte vorhanden sind, also als elektrisch geladene Ionen. Ferner könnte man sich denken, daß die Ionen in der Kombination, in der sie vorhanden sind (Versuchskombina-

tion wie im Blut) geringerem Widerstand gegen Diffusion begegnen als im Speichel, wo nach PICKERILL (13) das Vorhandensein des Muzins in einer Form vielleicht wie "Non-Elektrolyt" die Bewegung der Ionen bei Diffusion hindert."

Es besteht ferner die Hypothese, daß der Schmelz in der Lage sei, aus dem Speichel Salze aufzunehmen, um damit im Laufe der Zeit härter zu werden. Diese Erscheinung, unter dem Begriff "Remineralisation" bekannt, wurde seit der Möglichkeit der Anwendung radioaktiver Isotope oft beschrieben. Um nur einige zu nennen, sei auf die Arbeiten von PICKERILL (13), VOLKER und SOGNNAES (19), PEDERSEN und SCHMIDT-NIELSEN (12), WANNENMACHER (20) verwiesen.

PEDERSEN und SCHMIDT-NIELSEN (12) waren auf Grund ihrer Versuchsanordnung in der Lage, einen Vergleich zwischen Zähnen zu ziehen, die vor dem Zutritt des Speichels geschützt waren, und Zähnen, die in der Mundhöhle standen, die der Speichel also in natürlicher Weise beeinflussen konnte. Um den Speichelzutritt zur Zahnoberfläche zu unterbinden, versahen sie Zähne mit gutschließenden Neusilberkappen, ohne irgendwelchen vorhergehenden Eingriff am Schmelz. Die Kappen umfaßten die Kronen bis unter den Gingivalrand und wurden mit Phosphatzement befestigt. Die Hauptfrage lautete dabei, ob und in welchem Ausmaß die äußere Schmelzschicht radioaktiven Phosphor auf dem Wege über Pulpa und Dentin aufnimmt. Über die Ergebnisse dieses Versuches schrieb REBEL (14) zusammenfassend: "Danach wird vom Blut her relativ viel und rasch Phosphor im Zahnbein abgelagert, nicht aber im Schmelz. Vom Speichel her wird wenig Phosphor im Schmelz eingelagert, nicht aber im Zahnbein. Wird der Schmelz mit einer Metallkappe gegen Speichel abgedeckt, so läßt sich kein Phosphor nachweisen." "Neuere mehrfache Untersuchungen mit verschiedenen Stoffen bringen jedoch eine Korrektur dieser schon etwas zurückliegenden Ansichten. Es scheint nämlich kein Zweifel zu sein, daß via Pulpa und Zahnbein kleinste Mengen die Schmelz-Dentingrenze zu überschreiten vermögen. Diese über die Lamellen die Schmelzbüschel. die kolbenförmigen Fortsätze der Dentinkanälchen, wahrscheinlich auch über die interprismatische Substanz und die Prismenscheiden in die

innere Schmelzzone übertretenden Phosphorionen sind aber nur in Spuren und nur in der innersten Zone, etwa der Breite der Schmelzbüschel entsprechend, nachzuweisen. Ohne Pulpa gibt es keinen solchen Transport. Auch ein Austausch vom Zahnbein her mit dem Zement oder umgekehrt ist bislang nicht erwiesen."

Nach ROZEIK und HERRMANN (15) zeigten diese Arbeiten aber nur, "daß der Schmelz fähig ist, von außen zugeführte Salze aufzunehmen. Wenn aber nach ANDRESEN (1) der Schmelz befähigt sein soll, diese Ionen zu organisieren und vielleicht zum Schmelzaufbau zu verwenden, dann müßte sich diese Fähigkeit in irgendeiner Weise nachweisen lassen." Die Möglichkeit dieses Nachweises sahen sie in der Prüfung der Härte des Schmelzes. Auf Grund ihrer schon anfangs erwähnten experimentellen Untersuchungen zogen sie den Schluß, "daß der 'junge' Schmelz eine geringere Härte aufweist als der 'ältere' Schmelz, d.h., daß die Härte des Schmelzes im Laufe des Lebens zunimmt. Dieses Phänomen wird als 'Schmelzreife' bezeichnet."

STUDNICKA und BAZANT (18), die auf Grund chemischer Analysen den organischen Teil des Schmelzes beim durchbrechenden Zahn mit etwa 78 %, beim Erwachsenen mit 95 % und im Senium mit 97-99 % bestimmten, versuchten die Schmelzreifung chemisch zu beweisen. Ebenso KOHARI und BONA (9), die auf histologischem Weg, d.h. durch Beobachtung der Formen der Schmelzprismen, "die mit der Reife und Alterung zusammenhängenden Prozesse früher an der Peripherie des Schmelzes als in der Nähe des Dentins" fanden.

Die vollständig retinierten Zähne jedoch, die uns zur Härteprüfung zur Verfügung standen, waren der hypothetischen Reifung des Schmelzes durch Einlagerung von Mineralsalzen vom Speichel aus (Remineralisation) mit Sicherheit entzogen.

Zusammenfassend können folgende charakteristische Härteeigenschaften des Schmelzes und des Dentins menschlicher Zähne als erwiesen betrachtet werden:

A. Schmelz

1. Die Härte nimmt kontinuierlich von der Oberfläche zur Schmelz-Dentingrenze hin ab.
2. Die Härte fällt regelmäßig von coronal nach cervical ab.

B. Dentin

1. Der Härteverlauf vom Pulpakavum zur Schmelz-Dentingrenze zeigt, daß die Härte von der Pulpa weg stetig ansteigt, sich dann auf einem maximalen Niveau hält, um in der unmittelbaren Nähe der Schmelz-Dentingrenze wieder etwas abzufallen.

III. Versuchsmaterial und Methodik

A. Material

Zur Untersuchung standen zehn vollständig retinierte Zähne von Patienten des Zahnärztlichen Institutes Tübingen zur Verfügung, über die in Tabelle 1 genauere Angaben enthalten sind (Präp. Nr. 1, 2, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, siehe nächste Seite).

Weitere fünf retinierte Zähne wurden uns in dankenswerter Weise von der Zahn- und Kieferklinik des Katharinen-Hospitals Stuttgart und aus operativen Behandlungen des Zahnärztlichen Institutes Tübingen überlassen. Angaben über Alter und Mundbefund waren in diesen Fällen nicht mit der erforderlichen Sicherheit zu erhalten, weshalb hier besser darauf verzichtet werden mußte. Sicher ist jedoch, daß es sich auch bei diesem Material um vollständig retinierte Zähne handelte, die noch nicht mit der Mundhöhle in Beziehung gestanden hatten.

Die Zähne wurden nach der operativen Entfernung bis zur experimentellen Weiterverarbeitung in 70 %igem vergälltem Alkohol aufbewahrt.

Tabelle 1

Präp. Nr.	Zahn	Name des Patienten	Alter in Jahren	DMF+ Zähne	Bemerkungen
1	-8	L.S. w.	16	11/26	2 Molaren Fissuren-Fllgn. 4 Molaren Approximal-Fllgn. 4 Frontzähne Approximal-Fllgn. 1 Molar wegen Karies extr.
2	-8	F.B. m.	23	16/29	5 Molaren Fissuren-Fllgn. 6 Molaren Approximal-Fllgn. 4 Frontzähne Approximal-Fllgn. 1 Molar wegen Karies extr.
3	8+	—	-	-	---
4	8-	K.R. m.	38	8/29	3 Molaren Fissuren-Fllgn. 5 Molaren Approximal-Fllgn.
5	8-	--	-	-	---
6	Zapfen-zahn	--	-	-	---
7	Zapfen-zahn	--	-	-	---
8	Mesio-dens	--	-	-	---
9	+4	A.H. w.	47	31/31	4 Molaren Approximal-Fllgn. 27 Zähne wegen Karies und progressiver marginaler Parodontitis extr., Diabetes
10	-5	K.W. m.	29	21/31	7 Molaren Approximal-Fllgn. 4 Frontzähne Approximal-Fllgn. 10 Molaren wegen Karies extr.

Fortsetzung Tabelle 1:

Präp. Nr.	Zahn	Name des Patienten	Alter in Jahren	DMF+ Zähne	Bemerkungen
11	8+	F.B. m.	22	6/28	1Molar Fissuren-Fllg. 4Molaren Approximal-Fllgn. 1Molar wegen Karies extr.
12	8-	F.B. m.	22	6/28	
13	+3	A.R. m.	15	10/26	2 Molaren Fissuren-Fllgn. 7 Molaren Approximal-Fllgn. 1 Molar wegen Karies extr.
14	3+	A.R. m.	15	10/26	
15	5+	S.Sch. w.	20	10/27	2 Molaren Fissuren-Fllgn. 4 Molaren Approximal-Fllgn. 1 Molar wegen Karies extr.

+) DMF-Angaben als Anzahl kariöser, gefüllter oder wegen Karies extrahierter Zähne im Verhältniss zur Anzahl der in die Mundhöhle durchgetretenen Zähne.

1. Schleifen der Proben

Jedes Präparat wurde mit Stents auf einer Spannvorrichtung des Zahnschliffgerätes der Fa. Köhler, Mainz, befestigt und dann in sagittaler Richtung möglichst in der Mitte von einer mit Diamantpaste belegten Kupferbronzescheibe unter dauernder Wasserkühlung durchgeschliffen. Die Schliffdicke betrug 250 μ. Anschließend wurden die Schliffe auf der rauhen Seite einer Glasplatte mit Bimsmehl und Schlämmkreide poliert, um eine möglichst glatte Oberfläche zu erhalten.

B. Härtemessungen

1. Prinzip der Methode

Für unsere Versuche hat sich die Mikrohärteprüfung nach Vickers bewährt. Dazu stand uns der Kleinhärteprüfer DURIMET der Fa. Ernst Leitz, Wetzlar, zur Verfügung. Er arbeitet nach folgendem Prinzip (SEEGER (16)):

Ein Prüfdiamant mit Pyramidenform senkt sich mit einer definierten Kraft in einer bestimmten Zeit auf das zu prüfende Objekt und hinterläßt dort einen Eindruck, der in der Aufsicht quadratisch erscheint. Da die Ausmaße des Diamanten bekannt sind, gibt die Länge der Eindrucksdiagonalen ein Maß für die Tiefe des Eindrucks und damit für die Härte des Objekts. Diese wird in Vickerseinheiten angegeben und kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$HV = \frac{1854 \times P}{d^2}$$

Dabei bedeuten: HV = Vickershärte in kg/mm^2
P = Prüfkraft in Gramm
d = Länge der Eindrucksdiagonalen
1854 = Proportionalitätskonstante

Es werden jeweils beide Diagonalen ausgemessen und dann der Mittelwert gebildet. Die Vickershärten können einer Tabelle direkt entnommen werden.

2. Einbetten der Schliffe

Die Schliffe müssen mit ihrer Prüffläche parallel zum Objekttisch des Meßmikroskopes liegen, damit der Diamant senkrecht eindringen kann. Sie wurden dazu in Stents eingebettet und auf einer Plexiglasplatte mittels einer Lehre (SEEGER (16)) fixiert.

3. Meßvorgang

Die Präparate 1-10 wurden systematisch von der Oberfläche bis in unmittelbare Nähe des Pulpakavums durchgemessen. Der Meßlinienverlauf ist in Abb.1 schematisch dargestellt. Der erste Meßpunkt einer Meßreihe lag unmittelbar unter der Oberfläche, der letzte in unmittelbarer Nähe des Pulpakavums. Außerdem wurde die Schmelzhärte der Präparate 11-15 geprüft. Die Anordnung der Meßpunkte und -gruppen dieser Präparate ist aus den Abbildungen 2, 2a,und 3 ersichtlich. Es wurden nur Eindrücke gewertet, bei denen alle vier Ecken abgebildet waren. Der Abstand zwischen den Mittelpunkten zweier Eindrücke oder vom Rand des Präparates betrug mindestens die doppelte Diagonallänge, um zu vermeiden, daß Verfestigungen oder Auflockerungen des Materials durch den vorhergegangenen Eindruck die nächstfolgende Messung beeinflussen. Als Belastung erwiesen sich, um eine gut abmeßbare Diagonallänge zu erhalten, 100 g als günstig.

Für die Mindestruhezeit des Diamanten auf dem Objekt schreibt die Fa. Ernst Leitz 10 sec. vor. Aus Sicherheitsgründen vergrößerten wir die Mindestruhezeit auf 15 sec.. Die Ablaufzeit des Diamanten beträgt 15 sec.. Somit beträgt die gesamte Ablauf- und Ruhezeit des Diamanten, die schwingungsfrei erfolgen muß, für einen Eindruck 30 sec..

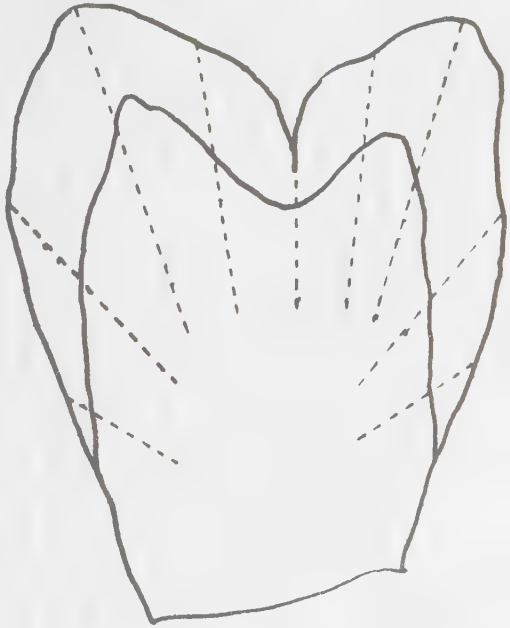


Abb. 1: Dünnschliff (ca. 50 µ) eines oberen rechten Prämolaren (vgl. Tab.1, Präp. 15, Vergr. 9,5x) und schematische Einzeichnung der Messlinien, wie sie bei den Untersuchungen der Präparate 1-10 angeordnet wurden.

C. Statistische Fehlerberechnung

Je nach der Fragestellung wurden die arithmetischen Mittelwerte und ihre Standardabweichungen aus einer oder mehreren Messreihen bzw. korrespondierenden Punkten gebildet. Die Standardabweichung gibt die Grenzen an, innerhalb derer das arithmetische Mittel schwankt. Sie wird nach folgender Formel berechnet (WEBER (21)):

$$s_{\bar{x}} = \pm \sqrt{\frac{\xi x_i^2 - \bar{x} \cdot \xi x_i}{N(N-1)}}$$

Hierbei bedeutet:
N = Umfang der Stichprobe, Zahl der Einzelwerte
n = Freiheitsgrad (N-1)
x_i = Einzelwert (x_1, x_2, x_3 ... usw.)
$\bar{x}$ = arithmetischer Mittelwert
$s_{\bar{x}}$ = Streuung des Mittelwertes (seine Standardabweichung).

Der Vergleich zweier Gruppen von Versuchsergebnissen, die durch Messung erhalten wurden und jeweils paarweise zusammengehören würden, wurde mit dem t- Test geprüft:

$$t = \frac{\bar{x}_a - \bar{x}_b}{\sqrt{\frac{(\xi x_i^2 - \bar{x} \cdot \xi x_i)a + (\xi x_i^2 - \bar{x} \xi x_i)b}{N_a + N_b - 2}}} \cdot \sqrt{\frac{N_a \cdot N_b}{N_a + N_b}}$$

Der sich hieraus ergebende t- Wert wird mit den aus den Tabellen (WEBER (21)) ersichtlichen Werten verglichen. Daraus wird gleichzeitig die Irrtumswahrscheinlichkeit in % abgelesen.

IV. Ergebnisse

Im Rahmen der Hauptuntersuchung erfolgte die systematische Untersuchung der Präparate 1-10 in der in der Problemstellung angeführten Reihenfolge. Zusätzlich wurde in einer Nachuntersuchung die Schmelzhärte der Präparate 11-15 überprüft.

A. Durchschnittliche Härtewerte retinierter Zähne

Die folgenden Tabellen (2 und 3) zeigen den aus den Einzelmessungen errechneten Härtemittelwert ($\bar{x}$) für Schmelz und Dentin, sowie dessen Standardabweichung($s_{\bar{x}}$) eines jeden Präparates. Die Angabe erfolgt in Vickerseinheiten (kg/mm^2).

Tab.2: Schmelzhärte [1)]

Präp.Nr.	Zahn	N	$\bar{x}$ (kg/mm^2)	$s_{\bar{x}}$
1	-8	47	328,6	± 8,7
2	-8	39	341,6	± 8,5
3	8+	66	341,1	± 6,5
4	8-	23	290,7	±11,4
5	8-	28	307,5	±10,9
6	Zapfenzahn	8	302,1	±15,3
7	Zapfenzahn	18	343,8	±14,6
8	Mesiodens	4	382,7	±26,3
9	+4	75	328,7	± 5,2
10	-5	26	326,9	±10,7

Anm. 1): Sämtliche Werte $\bar{x}$ und $s_{\bar{x}}$ sind auf 3 Dezimalstellen berechnet, jedoch auf eine Dezimalstelle auf- bzw. abgerundet.

Tab. 3: Dentinhärte ·te

Präp.Nr.	Zahn	N	$\bar{x}$ (kg/mm^2)	$s_{\bar{x}}$
1	-8	55	80,8	±2,0
2	-8	20	78,8	±3,1
3	8+	41	71,9	±2,1
4	8-	43	95,1	±2,5
5	8-	52	85,1	±2,6
6	Zapfenzahn	52	70,1	±1,7
7	Zapfenzahn	52	72,4	±2,2
8	Mesiodens	71	70,9	±1,2
9	+4	52	78,7	±1,4
10	5-	12	73,5	±2,6

Aus diesen Einzelwerten wurde ein durchschnittlicher Härtewert HV von 10 retinierten Zähnen gewonnen. Er beträgt:

Für Schmelz: bei 334 Messungen: HV = 329,5 kg/mm^2

seine Standardabweichung : $s_{\bar{x}} = \pm 3,0$

Für Dentin : bei 450 Messungen: HV = 77,6 kg/mm^2

Seine Standardabweichung : $s_{\bar{x}} = \pm 0,7$

B. Prüfung des Härteverlaufs in Schmelz und Dentin

An Hand der Meßwerte des Präparates Nr. 3 sollen die Härteschwankungen des Schmelzes von der Oberfläche zur Schmelz-Dentingrenze in Tabelle 4 zur Darstellung kommen.

Tab.4: Meßreihen auf Präparat Nr. 3 von der Schmelzoberfläche bis zur Schmelz-Dentingrenze (2)

Meßreihe	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Oberfläche								
	413	473	366	322	373	387	473	363
	383	429	373	297	342	339	366	357
		256	351	373	325	383	354	354
		348	351	302	299	251	380	376
		317	319	264		348	446	345
		306	342	357		357	433	336
		210	357	268		348	319	319
			373	394		376	354	314
			357	322		360	345	
			348			290	348	
			281				348	
			290				354	
							188	
							219	
S.D.-Grenze								
Durchschn. Härte HV	398	334	342	322	335	354	352	346

Anm. 2): Die Verteilung der Meßreihen in Tab. 4 entspricht dem Meßlinienverlauf in Abb. 1. Der erste Meßpunkt einer Meßreihe liegt unmittelbar unter der Oberfläche, der letzte in unmittelbarer Nähe der Schmelz-Dentingrenze. Der Abstand und die Zahl der Meßpunkte hängt von der Schichtdicke des Schmelzes in der entsprechenden Meßreihe ab. Es lag nahe, möglichst viele Meßpunkte in einer Meßreihe zu erhalten.

Aus Tabelle 4 geht hervor, daß die Härte im Schmelz von der Oberfläche zur Schmelz-Dentingrenze abfällt, gleichgültig, ob es sich um Zahnhals, Approximalraum, Kaufläche oder Fissur handelt. Dies war in gleicher Weise an allen Präparaten festzustellen. Der Härteabfall erfolgt nicht stetig, es schieben sich vereinzelt höhere bzw. geringere Härtewerte - ohne Gesetzmäßigkeit - ein. Starke Schwankungen des Härteabfalls zeigen die Meßreihen IV und VI dieses Präparates, beide jeweils in Meßbereichen zwischen Fissur und Höckerspitze gelegen.

Die Härteschwankungen des Dentins von der Schmelz-Dentingrenze zum Pulpakavum zeigt Tabelle 5 am Beispiel des Präparates Nr. 9.

Tab. 5: Meßreihen im Dentin von der Schmelz-Dentingrenze bis zum Pulpakavum am Beispiel des Präparates Nr.

Meßreihe	I	II	III	IV	V
S.-D.-Grenze					
	73,0	69,1	73,3	73,6	117,0
	69,4	72,1	85,8	84,3	73,0
	89,2	77,9	89,6	75,7	82,9
	73,6	76,3	95,8	68,6	74,5
	76,9	83,2	93,2	74,8	77,2
		81,2	88,4	85,0	85,0
		72,7	66,5	81,5	83,9
		83,6	74,2	88,4	101,0
		79,2	67,5		75,4
		72,4	68,3		97,6
		72,7	73,6		
		74,8	65,8		
		71,3	69,6		
		75,1			
		71,3			
		69,9			
Pulpakavum					
Durchschn. Härte HV	76,4	75,1	77,8	78,9	86,8

Anm. 3): Der erste Meßpunkt einer Meßreihe liegt unmittelbar unter der Schmelz-Dentingrenze, der letzte in unmittelbarer Nähe des Pulpakavums. Der Abstand und die Zahl der einzelnen Meßpunkte war von der Schichtdicke des Dentins in der entsprechenden Meßreihe abhängig.

Tabelle 5 läßt erkennen, daß die Härtewerte im Dentin nicht gleichförmig verlaufen. Folgende unterschiedlichen Reihen sind erkennbar:

1. Die Härte steigt vom Pulpakavum in Richtung Schmelz-Dentingrenze an, hält sich dann auf einem maximalen Niveau, und fällt in der Nähe der Schmelz-Dentingrenze wieder ab (Meßreihe II und III).

   Diese Gesetzmäßigkeit konnte an 21 von 57 auswertbaren Meßreihen unserer Untersuchung festgestellt werden.

   Außerdem zeigten 8 der insgesamt 57 Meßreihen einen linearen Härteabfall von der Schmelz-Dentingrenze zum Pulpakavum.

2. Der Härteverlauf im Dentin läßt keine Gesetzmäßigkeit erkennen (Meßreihe I und V). Die gemessenen Einzel-Härtewerte schwanken ohne erkennbaren Zusammenhang.

   Diesen unregelmäßigen Härteverlauf zeigten 23 Meßreihen.

3. Der Härteverlauf vom Pulpakavum zur Schmelz-Dentingrenze ist unregelmäßig, es besteht aber in unmittelbarer Nähe der Schmelz-Dentingrenze ein geringerer Härtewert (Meßreihe IV).

   Dies war an 5 Meßreihen zu beobachten.

C. Untersuchung der Härte von Schmelz und Dentin im Approximalraum und unter der Kaufläche

Hierzu wurden im Approximalraum die am weitesten **zervikal bzw.** occlusal gelegenen Meßreihen, unter der Kaufläche Meßreihen von Fissuren und Höckerspitzen zusammengefaßt. Die Einzelwerte aus jedem Präparat sind in Tabelle 6 für Schmelz und Tabelle 7 für Dentin ersichtlich (siehe Seite 22 und 23).

Aus Tabelle 6 ist zu entnehmen:

Im Schmelz finden sich die höchsten Härtewerte unter der Kaufläche, wobei besonders die Meßbereiche unter Fissuren mit HV = 342,1 kg/mm^2 über dem Durchschnitt der Restkaufläche HV = 331,8 kg/mm^2 liegen. Die Härte der Höckerspitzen unterscheidet sich nicht von der Härte der übrigen Kaufläche. Im Approximalraum ist - mit Ausnahme des Präparates Nr. 9 - ein regelmäßiger Härteabfall von occlusal nach zervikal zu erkennen.

Sämtliche Gruppen wurden mit Hilfe des t-Testes auf ihre Unterschiedswahrscheinlichkeit geprüft. Signifikante Härteunterschiede waren bei der hier gewählten Gegenüberstellung einzelner Meßreihen nicht nachzuweisen.

Aus Tabelle 7 ist zu ersehen:

Im Dentin finden sich ebenfalls die höchsten Härtewerte unter der Kaufläche, wobei wieder der Meßbereich unter Fissuren mit einem durchschnittlichen Härtewert HV = 82,8 kg/mm^2 hervorsticht. Der Bereich der Fissuren erweist sich mit 95 % Wahrscheinlichkeit als signifikant härter als das übrige Dentin. Im Approximalraum ist - wieder mit Ausnahme des Präparates Nr. 9 - der regelmäßige Härteabfall von occlusal nach zervikal nachzuweisen. Ein signifikanter Härteunterschied war - mit Ausnahme der Fissuren gegenüber dem Gesamtdurchschnitt des Dentins - nicht zu erbringen.

Tabelle 6: Mittlere Härtewerte im Schmelz retinierter Zähne, nach verschiedenen Abschnitten der Zahnkrone aufgegliedert

Präp. Nr.	Zahn	Approximalraum						Kaufläche								
		occlusal			zervikal			Fissur			Höckerspitze			Restkaufläche		
		N	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	N	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	N	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	N	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	N	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$
1	-8	-	-	-	-	-	-	6	311,3	±10,8	11	312,5	±15,5	29	329,8	±12,2
2	-8	7	364,2	±18,8	6	335,1	±32,4	6	374,5	±21,2	15	352,7	±11,5	19	339,3	±11,6
3	8+	12	342,3	± 8,7	7	334,1	±34,8	4	334,7	±15,5	26	347,5	±11,6	45	343,8	± 7,6
4	8-	6	329,6	±22,6	3	287,6	± 3,3	-	-	-	6	329,6	±22,6	-	-	-
5	8-	-	-	-	-	-	-	6	349,0	±24,5	13	311,9	±16,3	18	301,0	±13,0
6	Zapfenzahn	5	303,4	±14,9	3	300,0	±37,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Zapfenzahn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Mesiodens	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	+4	8	311,6	±15,3	5	349,8	±27,8	-	-	-	8	311,6	±15,3	-	-	-
10	-5	-	-	-	-	-	-	5	338,0	±13,6	7	321,4	±15,6	7	321,4	±15,6
Durchschn. Härte HV		38	332,8	± 7,3	24	327,6	±14,6	27	342,1	± 8,8	96	331,9	± 5,8	118	331,8	± 5,2

Tabelle 7: Mittlere Härtewerte in verschiedenen Abschnitten des Dentinkerns retinierter Zähne

Präp. Nr.	Zahn	Approximalraum						Kaufläche								
		occlusal						Fissur			Höckerspitze			Restkaufläche		
		N	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	N	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	N	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	N	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	N	$\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$
1	-8	–	–	–	–	–	–	5	87,0	±5,2	13	74,2	±4,2	19	77,4	±3,8
2	-8	3	78,3	±8,1	5	78,1	±3,8	–	–	–	4	81,5	±6,5	–	–	–
3	8+	5	84,4	±12,2	5	63,1	±3,0	4	65,2	±4,2	15	73,2	±2,4	24	73,3	±1,8
4	8-	7	109,3	±8,7	6	100,5	±3,5	11	88,7	±4,2	7	85,7	±2,3	11	86,9	±2,3
5	8-	–	–	–	–	–	–	11	88,2	±5,5	22	88,2	±3,5	34	86,0	±3,2
6	Zapfenzahn	10	68,7	±1,6	9	68,4	±0,9	–	–	–	9	73,7	±6,3	–	–	–
7	Zapfenzahn	–	–	–	–	–	–	–	–	–	8	76,6	±2,7	–	–	–
8	Mesiodens	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
9	+4	16	75,1	±1,2	5	76,4	±3,4	8	78,9	±2,4	16	75,1	±1,2	39	79,0	±1,7
0	-5	–	–	–	–	–	–	4	71,6	±2,7	–	–	–	3	80,5	±8,7
urchschn. ärte HV		41	80,8	±3,0	30	76,9	±2,6	43	82,8	±2,2	94	78,8	±1,4	130	80,3	±1,3

D. Kariesresistenz bzw. Kariesanfälligkeit und Mikrohärte

Auf Grund der DMF-Angaben (Tabelle 1) wurden die Präparate nach steigendem DMF-Quotienten, d.h. nach steigender Kariesanfälligkeit geordnet. Es muss jedoch vorausgeschickt werden, dass die Beurteilung der Kariesanfälligkeit auf Grund von DMF-Angaben problematisch ist (KRÖNCKE und NAUJOKS (11)).

Tab. 8: Präparate nach steigendem DMF-Quotienten geordnet mit Vergleich der jeweiligen Schmelz- bzw. Dentinhärte

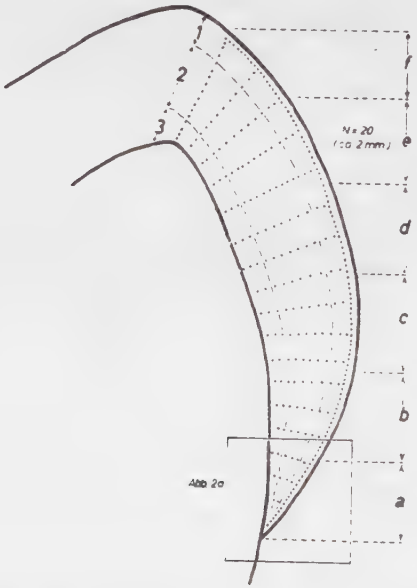
Präp. Nr.	Zahn	Alter in Jahren	DMF	DMF-Quotient	HV Schmelz	HV Dentin
11	8+	22	6/28	0,214	328,4	-
12	8-	22	6/28	0,214	317,0	-
4	8-	38	8/29	0,275	290,7	95,1
15	5+	20	10/27	0,378	384,0	-
13	+3	15	10/26	0,384	402,0	-
14	3+	15	10/26	0,384	358,4	-
1	-8	16	11/26	0,423	328,6	80,8
2	-8	23	16/29	0,551	341,6	78,8
10	-5	29	21/31	0,677	326,9	73,5
9	+4	47	31/31	1,000	328,7	78,7

Aus dieser Gegenüberstellung ist keine Beziehung zwischen Kariesanfälligkeit und Schmelz-bzw. Dentinhärte retinierter Zähne zu entnehmen. Bei ansteigender Anordnung der DMF-Quotienten sind die Mittelwerte der Härten in Schmelz bzw. Dentin unregelmässig, sie lassen keine Ordnung zu.

E. Spezielle Nachuntersuchung der Schmelzhärte

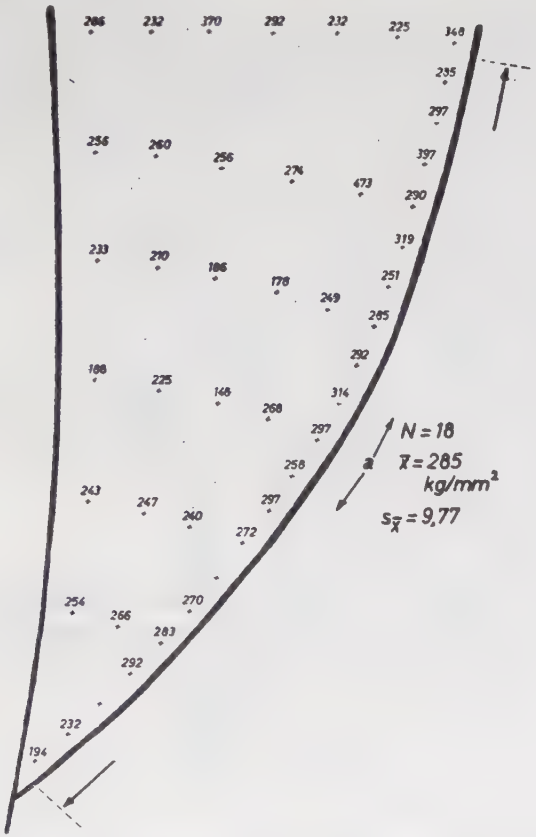
Hierzu wurde an den Präparaten 11-15 (Tabelle 1) nochmals die Gesetzmässigkeit des Härteverlaufs sowohl von occlusal nach zervikal als auch von der Schmelzoberfläche zur Schmelz-Dentingrenze systematisch überprüft. Die Messgruppen und -ergebnisse sind in den nachfolgenden Abbildungen 2, 2a, 3 und den Tabellen 9-12 dargestellt.

Abb. 2: Anordnung der Messpunkte und -gruppen[4]) im buccalen Schmelzabschnitt des Präparates Nr. 114



Anm.4) Die Anzahl der Messpunkte entlang der Oberfläche beträgt 116. 17 Messreihen von der Oberfläche zur Schmelz-Dentingrenze mit 3-22 Einzelwerten.

Abb. 2a: Vergrösserter Ausschnitt aus Abbildung 2 mit Einzelwerten im zervikalen Messbereich (a) des Präparates Nr. 11 [5]



Anm. 5): Abstand der Messpunkte von der Oberfläche etwa 50 µ, von einem Messpunkt zum anderen etwa 100 µ.

Die statistische Auswertung der in Abbildung 2 dargestellten Messgruppen kommen in Tabelle 9 und 10 zur Darstellung.

Tab. 9: Messgruppen a-f entlang der Oberfläche des Präparates Nr. 11 . Zahlenangaben HV in kg/mm^2

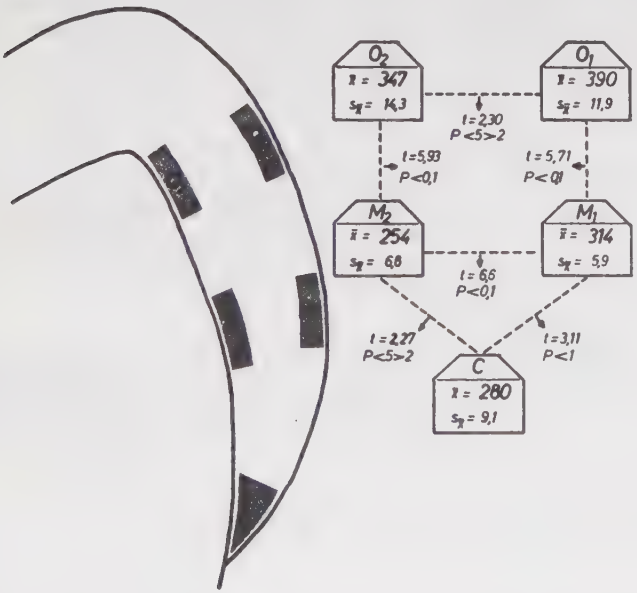
Gruppe	N	HV $\bar{x}$	HV $s_{\bar{x}}$	t	P
a	18	285	9,67		
				4,27	< 0,1
b	19	363	14,25		
				0,82	
c	20	379	13,43		
				0,58	> 5
d	20	391	15,70		
				0,31	
e	20	384	16,05		
				0,42	
f	16	375	13,30		

Tab. 10: Messgruppen 1-3 (Oberflächen -, Mittel -,und Innenschicht des Schmelzes) des Präparates Nr.11 entsprechend Abbildung 2 . Zahlenangaben HV in kg/m

Gruppe	N	HV $\bar{x}$	HV $s_{\bar{x}}$	t	P
1	34	338	13,17		
				7,69	< 0,1
2	67	229	7,49		
				2,15	< 2
3	34	212	9,72		
			Vergleich 1:3	7,68	< 0,1

Die Anordnung der Messgruppen der Präparate 12 - 15 wurde unterteilt in eine Oberflächen - und Innenschicht jeweils in einem occlusalen, mittleren und zervikalen Bereich. Schematische Darstellung in Abb. 3

Abb. 3: Anordnung der Messgruppen (jeweils N=20) der Präparate 12 - 15 und Ergebnisse des Präparates Nr. 12 HV in kg/mm^2 .



Die statistischen Vergleiche der einzelnen Messgruppen geben die Tabellen 11 und 12 wieder.

Tab. 11: Vergleich der mittleren Mikrohärtewerte der Oberflächenschicht (O_1 und M_1) mit der Innenschicht (O_2 und M_2) des Schmelzes der Präparate Nr. 12-15 (vgl. Abb. 3). Anzahl der Einzelmessungen jeweils N = 20. Angaben HV in kg/mm².

Präp. Nr.	Zahn	$\bar{x}$ HV	$s_{\bar{x}}$	$\bar{x}$ HV	$s_{\bar{x}}$	t	P
12	8–	O_1: 390	11,93	O_2: 347	14,3	2,30	5 2
		M_1: 314	5,9	M_2: 254	6,83	6,63	0,1
13	+3	O_1: 419	11,6	O_2: 334	11,65	5,08	0,1
		M_1: 468	20,72	M_2: 389	9,18	3,47	0,1
14	3+	O_1: 398	8,82	O_2: 328	6,2	6,50	0,1
		M_1: 401	11,1	M_2: 303	4,7	8,09	0,1
15	5+	O_1: 397	13,16	O_2: 338	6,38	4,04	0,1
		M_1: 432	12,6	M_2: 361	10,88	4,23	0,1

Tab. 12: Vergleich der mittleren Mikrohärtewerte der Mittelgruppen (M_1) und der zervikalen Messgruppen (C) der Präparate 12 - 15 (vgl. Abb. 3). Anzahl der Einzelmessungen jeweils N = 20. Angaben HV in kg/mm².

Präp. Nr.	Zahn	Messgruppe M_1 $\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	Messgruppe C $\bar{x}$	$s_{\bar{x}}$	t	P
12	8–	314	5,9	280	9,15	3,11	1
13	+3	468	20,72	400	10,24	2,94	1
14	3+	401	11,1	362	10,85	2,84	2
15	5+	432	12,6	392	8,36	2,61	2

Aus diesen Tabellen (9-12) geht hervor, daß

1. Der Zahnschmelz im zervikalen Abschnitt stets eine geringere Härte aufweist als die weiter occlusal gelegenen oberflächlichen Schmelzabschnitte in der Mitte der gewölbten Seitenflächen der Zahnkronen, und daß

2. die inneren, an der Schmelz-Dentingrenze gelegenen Schmelzschichten stets geringere Härte besitzen als die vergleichbaren Schmelzschichten nahe der Oberfläche.

V. Diskussion der Ergebnisse

Die durchschnittlichen Härtewerte für Schmelz HV = 329,5 kg/mm^2 und für Dentin HV = 77,6 kg/mm^2 aus unseren Ergebnissen liegen wesentlich höher, als die von KIMMERLE (8) für Schmelz mit HV = 274,39 kg/mm^2 und STOLL (17) für Dentin mit HV = 62,64 kg/mm^2 ermittelten Härtewerte an bereits in die Mundhöhle durchgebrochenen Zähnen.

Grund dieser höheren Werte könnten experimentelle Fehler sein, die beim Schleifen der Präparate entstehen, denn es ist leicht möglich, daß der Sagittalschliff nicht immer genau durch die Mitte des Präparates verläuft sondern gering nach buccal oder palatinal bzw. lingual abweicht. Dadurch erhält man einerseits ein mehr oder weniger von der Mitte des Zahnes entferntes Schliffpräparat, andererseits ist der Winkel, in dem die Schmelzprismen und Dentinkanälchen vom Meßdiamanten getroffen werden, von Präparat zu Präparat und auch innerhalb eines Präparates verschieden. Die Wahrscheinlichkeit, daß derartige experimentelle Fehler eine Rolle spielen, ist jedoch als sehr gering einzuschätzen.

Andererseits weisen die Tabellen 2 und 3 erhebliche Schwankungen der durchschnittlichen Härtewerte der einzelnen Präparate im Schmelz wie auch im Dentin auf (vgl. auch Abb. 2a). Doch zeigen die von KIMMERLE (8) angegebenen einzelnen Durchschnittshärtewerte bei bereits durchgebrochenen Zähnen fast die gleiche Variationsbreite der Extremwerte. Unsere hohen durchschnittlichen Härtewerte im Schmelz und Dentin können deshalb wahrscheinlicher auf Zufälligkeiten der Materialverteilung zurückgeführt werden. Dies wird umso wahrscheinlicher, wenn man berücksichtigt, daß KRELL (10) und auch BALLE (2) durchschnittliche Schmelzhärtewerte von HV = 330 kg/mm^2 bzw. HV = 323 kg/mm fanden, was ungefähr unserem Befund nahekommt.

Sieht man von experimentellen Fehlern und individuellen Schwan-

kungen ab, mag folgende Überlegung den höheren Härtedurchschnittswert des Schmelzes bei unserem Untersuchungsmaterial erklären:

Der retinierte Zahn bleibt auch nach Abschluß seines Wachstums im Knochen liegen. Sein Stoffwechsel erfolgt allein über Blut und Serum. Die Einwirkung des Speichels, insbesondere des Muzins als "Nonelektrolyt" im Sinne von ANDRESEN (1) und PICKERILL (13) fehlt. Die anorganischen Ionen, vor allem Phosphor und Calcium, die als Apatite auskristallisiert die Härte ausmachen, dringen möglicherweise unter geringerem Widerstand in den Schmelz ein.

Die relativ hohen Dentinhärtewerte lassen sich vielleicht ebenso erklären: Auf Grund des fehlenden exogenen "Diffusionshindernisses" Muzin dringen die Ionen auch über die Schmelz-Dentingrenze zum Dentin vor. Verbleibt der Zahn über Jahre retiniert, so mag sich ein Härteunterschied gegenüber dem durchgebrochenen Zahn bemerkbar machen.

Der Nachweis des Härteabfalls im Schmelz von der Oberfläche zur Schmelz-Dentingrenze konnte auch an retinierten Zähnen erbracht werden. Damit lassen sich hier die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie an durchgetretenen Zähnen nachweisen (vgl. insbesondere Tab. 9-12).

Die vereinzelt beobachteten Schwankungen des Härteabfalls in den Meßreihen können insofern methodischer Natur sein, als ein geringes Abweichen von der Meßrichtung in Einzelfällen nicht auszuschließen ist. Andererseits ist aus morphologischen Studien bekannt, daß der Zahnschmelz nicht homogen strukturiert ist. Zonen unterschiedlicher Mineralisation oder abweichender Struktur (Retziusstreifen, innere Hypoplasien und dgl.) müssen deshalb als wahrscheinlichste Ursache für die Abweichungen einzelner Meßwerte angenommen werden.

Auch im Dentin kann in der Regel ein deutlicher Härteabfall von der Schmelz-Dentingrenze in Richtung Pulpakavum an retinierten Zähnen beobachtet werden.

Jedoch ließ sich die Härtespitze in geringem Abstand von der Schmelz-Dentingrenze und der relativ rasche Abfall zur Schmelz Dentingrenze - wie STOLL (17) sie beschreibt - nur bei 21 von 57 Meßreihen nachweisen. Wir halten die von STOLL gemachten Angaben aber für sicher, da er seine Untersuchungen auf 2468 E zelmessungen stützen kann, während wir nur 450 Messungen im Dentin durchführen konnten. Auch teilte er seine Präparate in Meßzonen mit bestimmtem Abstand vom Pulpakavum ein, was einen charakteristischen Härteverlauf in einem bestimmten Gebiet leichter erkennen läßt. Im Prinzip können die vorliegenden Ergebnisse als identisch mit den Befunden von STOLL bezeichnet werden, wenn man auch hier wieder berücksichtigt, daß auch der Morphologie des Dentins gut bekannte Zonen unterschiedlicher Mineralisation (z.B. Interglobulardentin) zu Abweichungen einzelner Messungen oder Messreihen von der Regel führen. Insofern unterscheidet sich der charakteristische Härteverlauf im Dentin retinierter Zähne nicht auffallend von demjenigen durch gebrochener Zähne.

Auf der Suche nach Härteunterschieden zwischen den einzelnen Zahnflächen konnte im Schmelz und Dentin ein signifikanter Unterschied nicht gefunden werden. Dies unterstreicht die von CALDWELL und Mitarbeiter (5) gemachten Angaben. Variationen finden sich nach ihnen aber innerhalb derselben Fläche an demselben Zahn. Wir können dies bekräftigen: Im Schmelz und Dentin finden sich besonders hohe Härtewerte in den Meßbereichen unter Fissuren.

Außerdem konnte der Härteabfall von occlusal nach zervikal - mit Ausnahme des Präparates Nr. 9 - in Schmelz und Dentin nachgewiesen werden. Auch in dieser Hinsicht weisen also retinierte Zähne die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie solche Zähne auf, die bereits in die Mundhöhle durchgebrochen waren. Aus der Tatsache der größeren Härte der Zahnhartsubstanzen im occlusalen bzw. incisalen Teil der Zahnkrone läßt sich deshalb nicht etwa ableiten, daß diese zuerst mit dem Mundmilieu in Kontakt kommenden Abschnitte länger und damit etwa intensiver

einer exogenen Schmelzreifung unterlegen haben könnten. Vielmehr läßt die gleichartige Beobachtung an retinierten wie an durchgebrochenen Zähnen die Schlußfolgerung zu, daß der gesetzmäßige Abfall der Schmelz- und Dentinhärte von occlusal nach zervikal genetisch und in Struktur und Mineralisation begründet ist.

Die Wahrscheinlichkeit dieser Schlußfolgerung dürfte sich auch auf die Deutung des Härteabfalls von der Schmelzoberfläche zur Schmelz-Dentingrenze dahingehend auswirken, daß diese ebenfalls eher entwicklungsbedingt und weniger als Ausdruck einer sekundären und exogenen Schmelzreifung aufgefaßt werden dürfen.

Im Präparat Nr. 9 des vorliegenden Materials wurden als einzige Ausnahme von der Regel umgekehrte Verhältnisse angetroffen. In den zervikalen Abschnitten der Zahnkrone wurden sowohl im Schmelz als auch im Dentin höhere Härtewerte gefunden als in den occlusalen Bereichen (vgl. Tabelle 5 und 6). Als einziger bisher bekannter Ausnahmefall gefährdet er die Gesetzmässigkeit der übrigen Befunde wohl kaum. Immerhin fällt aber auf, daß dieser Zahn von einer 47-jährigen Patientin stammt, bei der bemerkenswert viele Zähne wegen Karies und progressiver marginaler Parodontitis extrahiert werden mußten. Mit der Diagnose "Diabetes" liegt hier auch ein eindeutiger Internbefund vor. Schlußfolgerungen über mögliche Zusammenhänge mit dieser Stoffwechselerkrankung erscheinen nicht statthaft, bevor diese Fragestellung nicht systematisch untersucht wird.

Der Versuch, das vorhandene Material nach Kariesresistenz und Kariesanfälligkeit zu trennen, ist auf Grund des im Befund festgehaltenen DMF-Indexes problematisch, weil der zahlenmässige Ausdruck für den Kariesbefund nicht identisch zu sein braucht mit der aktuellen Kariesanfälligkeit der betreffenden Person (KRÖNCKE und NAUJOKS (11)). Auch ließ sich der Nachweis eines Zusammenhanges zwischen Härte und Kariesresistenz bzw. -anfälligkeit auf Grund des vorliegenden Materials nicht erbringen.

Ein Vergleich zwischen retinierten Weisheitszähnen und sonstigen retinerten Zähnen wurde nicht durchgeführt, um die Angaben von DANIELSSON (6) zu überprüfen. Danach waren bei einem Weisheitszahn geringere Härtewerte als bei einem Frontzahn gefunden worden. Die Härte (Mineralisation) von Schmelz und Dentin ist, wie die Tabellen 2 und 3 erkennen lassen, individuell sehr unterschiedlich, sodaß diese Frage an dem vorliegenden Material nicht geprüft werden kann. Erforderlich hierfür wären mehrere und verschiedene retinierte Zähne von einem Patienten.

Auch zur Klärung der Frage, inwiefern das Alter der Probanden Einfluß auf die Härte der Zahnhartsubstanzen gewinnt, reicht das vorliegende Material zahlenmässig nicht aus.

VI. Zusammenfassung

An Schliffpräparaten von 15 retinierten menschlichen Zähnen wurde geprüft, in welchem Umfang bekannte Gesetzmäßigkeiten der Härte in Schmelz und Dentin bereits in die Mundhöhle durchgetretener Zähne auch an retinierten Zähnen zu beobachten sind.

Die Untersuchungen erbrachten folgendes Ergebnis:

A. Befunde

1. Die durchschnittlichen Härtewerte in Schmelz und Dentin zeigen erhebliche Schwankungen von Präparat zu Präparat; der ermittelte, relativ hohe Gesamtdurchschnittswert der Härte sowohl im Schmelz (HV = 329,5 kg/mm^2) als auch im Dentin (HV = 77,6 kg/mm^2) ist wahrscheinlich auf Zufälligkeiten der Materialverteilung zurückzuführen.

2. Im Schmelz retinierter Zähne nimmt die Härte wie bei bereits durchgebrochenen Zähnen von der Oberfläche zur Schmelz-Dentingrenze hin ab. Vereinzelte Ausnahmen von dieser Regel sind bei der hier gewählten Anordnung der Meßpunkte auf morphologische Variationen zurückzuführen. Sie stellen die Gesetzmäßigkeit nicht in Frage.

3. Bei der Untersuchung des Härteverlaufs im Dentin findet sich ein deutlicher Härteabfall von der Schmelz-Dentingrenze zum Pulpakavum hin. Dieses Ergebnis unterscheidet sich damit ebenfalls nicht grundsätzlich von den im Schrifttum beschriebenen Befunden bei durchgebrochenen Zähnen.

4. Mit Ausnahme eines Präparates fand sich im Schmelz retinierter Zähne ein Abfall der Härte von coronal nach zervikal. Die gleiche Gesetzmäßigkeit gilt für das Dentin.

5. Signifikante Härteunterschiede zwischen einzelnen Zahnflächen (approximal, occlusal) sind bei dem vorliegenden Untersuchungsmaterial nicht eindeutig feststellbar. Die we-

fundenen Werte weisen jedoch darauf hin, daß die occlusalen Anteile von Schmelz und Dentin etwas härter sind als die übrigen Abschnitte der Zahnkrone.

6. Auf Grund der Gegenüberstellung des steigenden DMF-Quotienten, d.h. dem Verhältnis kariöser, gefüllter und wegen Karies extrahierter Zähne zur Anzahl durchgebrochener Zähne, und der Schmelz- bzw. Dentinhärte der einzelnen Präparate konnte keine Beziehung zwischen Kariesanfälligkeit bzw. -resistenz und Schmelz- bzw. Dentinhärte retinierter Zähne gefunden werden.

Danach zeigen sich im Schmelz und Dentin retinierter Zähne grundsätzlich die gleichen Gesetzmässigkeiten, wie sie aus früheren Untersuchungen an bereits in die Mundhöhle durchgetretenen Zähnen bekannt sind.

B. Schlußfolgerung zur Frage der Schmelzreifung

Da die harte Außenschicht des Schmelzes bei retinierten Zähnen und bei normal in die Mundhöhle durchgebrochenen Zähnen vorhanden ist, kann sie nicht als Ergebnis der Reifung durch Remineralisation von Seiten des Speichels gedeutet werden. Auf Grund der vorliegenden Untersuchungen ist nicht eindeutig zu klären, ob die harte Außenschicht

a) genetisch als letzte Schmelzschicht, oder

b) durch Reifung, d.h. als sekundäre Einlagerung von Salzen aus Serum oder Speichel

zustandekommt. Die alleinige Wirkung des Mundmilieus im Sinne der Remineralisation kann jedoch ausgeschlossen werden. Da aber durchgebrochenen wie retinierte Zähne unterschiedliche Schmelzhärte occlusal und zervikal besitzen, liegt der Schluß nahe, daß Eigenheiten der Schmelzentwicklung und Leistungsfähigkeit der Ameloblasten bzw. der Zahnanlage von größerer Bedeutung sind als "Reifungsvorgänge" durch sekundäre Diffusion von Kalksalzen aus Serum oder Speichel.

An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor Dr. A. Kröncke für die Überlassung des Themas sowie für die vielseitige Unterstützung bei der Arbeit herzlich danken.

VII. Schrifttum

1. ANDRESEN, V., Über Mineralisation und Remineralisation des Zahnschmelzes. Dtsch. Mschr. Zahnhlk. 39, 97 (1921)

2. BALLE, D., Mikrohärtemessungen im gesunden und kariös veränderten Milchzahnschmelz. Inaug. Diss. Tübingen, 1962

3. BLUME, BODO B., Härtebestimmungen gesunder und kranker Zahnhartsubstanzen mit dem Kleinhärteprüfer "Durimet" der optischen Werke Emil Leitz, Wetzlar. Inaug. Diss. Bonn, 1954

4. BURG, F., Neue spezielle Härtebestimmungen der Zahnhartsubstanzen des Zahnes. Inaug. Diss. Jena, 1921

5. CALDWELL, R.C., MUNTZ, M.L., GILMORE, R.W. and PIGMANN, P., Microhardness Studies of Intact Surface Enamel and Dentin. J. Dent. Res. 37, 661 (1958)

6. DANIELSSON, I., Härtemessungen an Zähnen und Zahnersatzmaterial in Brinelleinheiten. Inaug. Diss. München, 1944.

7. FALCK, K. und WEICKART, P., Werkstoffkunde für Zahnärzte. 3. Aufl. München 1959, Karl Hanser, S. 55.

8. KIMMERLE, G., Über die Härte des Zahnschmelzes nach Kavitätenpräparation mit besonderer Berücksichtigung des Airotors. Inaug. Diss. Tübingen, 1962

8a. KRÖNCKE, A. und KIMMERLE, G., Über die Härte des kavitätennahen Zahnschmelzes nach konventioneller und höchsttouriger Präparation. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 17, 1158 (1962)

9. KOHARI, S. und BONA, K., Vergleichende elektronenmikroskopische Untersuchungen von Zahnschmelz und Dentin bei Individuen verschiedenen Alters. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 15, 1009 (1960)

10. KRELL, F., Härteprüfungen am Schmelz und am Dentin von Goldhamsterzähnen und menschlichen Zähnen. Inaug. Diss. Berlin, 1953.

11. KRÖNCKE, A. and NAUJOKS, R., Dental Caries Susceptibility Tests and their Significance in Dental Practice. Internat. Dent. J. 6, 174 (1956)

12. PEDERSEN, P.O. und SCHMIDT-NIELSEN, B., Untersuchungen über Stoffwechsel in den Zahnhartgeweben menschlicher Zähne unter Anwendung radioaktiven Phosphors als Indikator. Schweiz. Mschr. Zahnhlk. 51, 647 (1941)

13. PICKERILL, H.P., Über die Verhütung von Zahnkaries und Mundsepsis. 3. Aufl. London 1923, Bailiere, Tindall and Cox

14. REBEL, H.H., Klinische Zahnheilkunde. 1. Aufl. München 1954, Karl Hanser, S. 202.

15. ROZEIK, F. und HERRMANN, M., Über die Schmelzreife. Zahnärztl. Welt/Reform 63, 425 (1962)

16. SEEGER, U., Zur Frage des Mineralverlustes von Zahnhartsubstanzen bei Kalkmangelzuständen (Tierexperimentelle Mikrohärtemessungen). Inaug. Diss. Tübingen, 1962

17. STOLL, G., Mikrohärtemessungen im gesunden und kariös veränderten Dentin menschlicher Zähne. Inaug. Diss. Tübingen, noch unveröffentlicht.

18. STUDNICKA, F.K. und BAZANT, V., Das Problem der Vitalität des Zahnschmelzes. Verlag d. Königl. Böhm. Ges. d. Wissenschaften Prag, 1941

19. VOLKER, J.F. and SOGNNAES, R.F., A Studie of the Phosphorus Metabolism in the Dental Tissues of a Cat by the Use of Radioactive Phosphorus. J. Dent. Res. 19, 292 (1940)

20. WANNENMACHER, E., Das biologische Verhalten des Schmelzes unter Berücksichtigung von experimentellen Ergebnissen mit radioaktiven Stoffen (Isotopen). Dtsch. zahnärztl. Zschr. 4, 924 (1949)

21. WEBER, E., Grundriß der biologischen Statistik. 4. Aufl. Jena 1961, Gustav Fischer

L e b e n s l a u f

Am 22. März 1940 wurde ich, Christel Bühler, als Tochter des Zahnarztes Dr. Ernst Bühler und seiner Ehefrau Elisabeth geb. Frey in Lahr/Schwarzwald geboren.

Von 1946 bis 1950 besuchte ich die Volksschule in Lahr. Im Herbst 1950 wurde ich in das Max Planck-Gymnasium in Lahr aufgenommen, wo ich 1959 die Reifeprüfung bestand.

Im Sommersemester 1959 begann ich das Studium der Zahnheilkunde in Heidelberg und legte dort nach fünf vorklinischen Semestern die Zahnärztliche Vorprüfung ab. Im Wintersemester 1961/62 war ich in Freiburg immatrikuliert, seit dem Sommersemester 1962 in Tübingen.

Im Frühjahr 1964 legte ich das Zahnärztliche Staatsexamen ab.

Fotodruck Frau Elly HUTH Tübingen